

Е. В. Парусов, д.т.н., с.н.с., зав. відд., ORCID 0000-0002-4560-2043

В. А. Луценко, д.т.н., с.н.с, пров. н.с., ORCID 0000-0002-4604-5592

І. М. Чуйко, к.т.н., с.н.с, ORCID 0000-0002-4753-614X

О. В. Парусов, к.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-9879-6179

Т. М. Голубенко, к.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-3583-211X

Г. І. Сівак, н.с, ORCID 0000-0001-6948-7732

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України

ПРО МОЖЛИВІСТЬ ПРОГНОЗУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ХОЛОДНОДЕФОРМОВАНИХ МЕТАЛОВИРОБІВ ЗІ СТАЛЕЙ ПЕРЛІТНОГО КЛАСУ

Анотація. У відповідності до останніх світових тенденцій і сучасних потреб металовиробних підприємств суттєво зріс попит на бунтовий прокат зі сталей перлітного класу, який може піддаватися холодному пластичному деформуванню з великими ступенями обтиснення та призначений для виготовлення різноманітної товарної продукції (холоднодеформована арматура, арматурні канати, пружинний дріт, металокорд, дріт для рукавів високого тиску, будівельна фібра тощо). Найбільш перспективним напрямком підвищення класу міцності гарячекатаних сталей є деформаційне зміцнення під час холодного пластичного деформування. Структура холоднодеформованих сталей має більш рівномірний розподіл за поперечним перерізом на відміну від термічнозміцнених, яка в останньому випадку характеризуються кільцевими структурними зонами, що утворені за різними механізмами розпаду аустеніту. У ряді випадків структурна неоднорідність викликає нестабільність механічних властивостей сталевого прокату, тому альтернативного шляху деформаційному зміцненню сьогодні не існує. Виготовлення високоміцних холоднодеформованих металовиробів є складним процесом і залежить від якості бунтового прокату. Якщо холоднодеформовані металовироби не відповідають вимогам нормативної документації за класом міцності, то забезпечити їх виправлення вже неможливо жодним із відомих видів термічного оброблення. У зв'язку з цим становило науковий і практичний інтерес визначити можливість створення методики прогнозного визначення механічних властивостей холоднодеформованих металовиробів, які виготовлені зі сталей перлітного класу. Досліджено особливості впливу холодної пластичної деформації волочінням на формування класу міцності сталей перлітного класу із вмістом вуглецю 0,7...0,9 %. Встановлено, що тимчасовий опір руйнуванню, при визначених параметрах структури і вмісті вуглецю, добре піддається математичним розрахункам та дозволяє створювати прогнозні моделі. За результатами проведених досліджень створена комп'ютерна програма, яка дозволяє в автоматичному режимі розраховувати енергосилові параметри волочіння і визначати границю міцності переробної заготовки в залежності від сумарного відносного обтиснення, параметрів структури бунтового прокату та вмісту вуглецю в сталі.

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2021. – Випуск 35

«Fundamentalnye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2021. – Vypusk 35

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2021. – Collection 35

Ключові слова: Сталі перлітного класу, механічні властивості, холодна пластична деформація, бунтовий прокат, переробна заготовка, моделювання.

Посилання для цитування: Парусов Е. В., Луценко В. А., Чуйко І. М., Парусов О. В., Голубенко Т. М., Сівак Г. І. Про можливість прогнозування механічних властивостей холоднодеформованих металовиробів зі сталей перлітного класу. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2021. Вип. 35. С. 236-245. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2021-35-236-245

Актуальність проблеми. У відповідності до останніх світових тенденцій і сучасних потреб металовиробних підприємств суттєво зріс попит на бунтовий прокат зі сталей перлітного класу, який може піддаватися холодному пластичному деформуванню з великими ступенями обтиснення та призначений для виготовлення різноманітної товарної продукції (холоднодеформована арматура, арматурні канати, пружинний дріт, металокорд, дріт для рукавів високого тиску, будівельна фібра тощо) [1-4]. Така тенденція зумовлена постійною модернізацією парку волочильного обладнання та вдосконаленням технологічних схем виготовлення високоміцних металовиробів, що спрямовано на підвищення продуктивності та зменшення матеріальних витрат виробничого процесу. Наразі високоміцні металовироби все частіше використовують під час спорудження різноманітних конструкцій для цивільного і промислового будівництва, а також залізничних колій, що в останньому випадку обумовило потребу в отриманні холоднодеформованого арматурного прокату нового покоління із класом міцності понад 1500 МПа [1].

Відомо, що найбільш перспективним напрямком підвищення класу міцності гарячекатаних сталей є деформаційне зміцнення під час холодного пластичного деформування [4-6]. Такий спосіб забезпечує, в залежності від вихідного діаметру бунтового прокату та сумарного відносного обтиснення при волочінні, одержання тимчасового опору руйнуванню переробної заготовки в інтервалі 1500...2000 МПа, що значно перевищує міцність термічнозміцненої арматури, навіть якщо вона виготовлена з високовуглецевих сталей [7-9]. Структура холоднодеформованих сталей має більш рівномірний розподіл за поперечним перерізом на відміну від термічнозміцнених, яка в останньому випадку характеризуються кільцевими структурними зонами, що утворені за різними механізмами розпаду аустеніту [9, 10]. У ряді випадків структурна неоднорідність викликає нестабільність механічних властивостей арматурного прокату, тому альтернативного шляху деформаційному зміцненню сьогодні не існує. Процес холодного волочіння відбувається під дією тягнучого зусилля при переміщенні бунтового прокату через спеціальний інструмент – волоку,

після чого переробна заготовка набуває заданого діаметру. Під час такого оброблення вуглецевих сталей показники міцності зростають, а пластичність – зменшується. Для високоміцних металовиробів, особливо тих, які використовують для попередньо-напружених конструкцій, важливо попередити значне зменшення протягом часу (забезпечити високу релаксаційну стійкість), тому їх піддають додатковому механотермічному обробленню (стабілізації). Це дозволяє, окрім зростання пластичності, зменшити мінливість міцності холоднодеформованих металовиробів протягом часу [11]. Очевидно, виготовлення високоміцних холоднодеформованих металовиробів є складним процесом і залежить від якості бунтового прокату: структури, границі міцності, вмісту вуглецю в сталі, загального ступеня деформації, послідовності й повноти технологічних операцій. Якщо холоднодеформовані металовироби не відповідають вимогам нормативної документації за класом міцності, мінімальним значенням повного відносного видовження за максимального навантаження та релаксаційної стійкості, то забезпечити їх виправлення вже неможливо жодним із відомих видів термічного оброблення. Тому існує потреба у створенні методики прогнозного визначення механічних властивостей холоднодеформованих металовиробів, які виготовлені зі сталей перлітного класу і містять 0,7...0,9 % С.

Матеріал і методи дослідження. У якості вихідного матеріалу використано промислові партії бунтового прокату діаметром 8,0...12,0 мм зі сталей C82D^{Cr}, C82D^V, C82D^{CrV}, C86D^B (ISO 16120-2:2017), які містили 0,8...0,9 % С, у тому числі хром ($\leq 0,30\%$) та/або ванадій ($\leq 0,10\%$). Волочіння прокату проводили за наступними маршрутами: 8,0 мм \rightarrow 3,05 (3,20) мм; 10,0 мм \rightarrow 4,10 (4,25) мм; 11,0 мм \rightarrow 5,00 (5,25) мм; 12,0 мм \rightarrow 5,0 (5,25) мм; 12,0 мм \rightarrow 6,0 (6,25) мм. Надалі з отриманої переробної заготовки звивалися 7-дротяні арматурні канати класів міцності 1770 МПа і 1860 МПа за наступною схемою: (6 \times 3,05 мм + 1 \times 3,20 мм) \rightarrow 9,3 мм; (6 \times 4,10 мм + 1 \times 4,25 мм) \rightarrow 12,5 мм; (6 \times 5,00 мм + 1 \times 5,25 мм) \rightarrow 15,2 мм; (6 \times 6,00 мм + 1 \times 6,25 мм) \rightarrow 18,0 мм. Після звивання арматурні канати піддавали стабілізації (короткочасне низькотемпературне нагрівання у прохідній індукційній печі під дією навантаження). Механічні властивості бунтового прокату, переробної заготовки і арматурних канатів визначали за ДСТУ EN 10002-1:2006 і EN ISO 15630-3:2019 в умовах атестованої лабораторії на розривних машинах типу «TTDM Instron» і «PGM-1000».

Результати дослідження та їх обговорення. Волочіння бунтового прокату у переробну заготовку проходило за енергоефективним режимом із застосуванням способу прямого волочіння (без патентування). Під час волочіння обривність прокату відбувалася переважно за місцями

зварювання кінців бунтів. Для гарантованого досягнення заданого класу міцності арматурних канатів (1770 МПа, 1860 МПа) було оброблено багаторічний статистичний масив, який включав наступні дані: вміст вуглецю в сталі; вихідну границю міцності й вихідний діаметр прокату; кількість перліту бала № 1 у структурі сталі; сумарне відносне обтиснення та границю міцності й діаметр переробної заготовки. За результатами математичного опрацювання масиву даних вдосконалено відому формулу прогнозного визначення границі міцності переробної заготовки при додатковому застосуванні коригувального коефіцієнту [12]:

$$\sigma_{B1} = \sigma_{B2} \cdot k \cdot \sqrt{d_1 \div d_2} \quad \sigma_{B1} = \sigma_{B2} \cdot k \cdot \sqrt{d_1 \cdot d_2} \quad \sigma_{B1} = \sigma_{B2} \cdot k \cdot \sqrt{d_1 \cdot d_2},$$

де σ_{B1} , σ_{B2} – границя міцності переробної заготовки і бунтового прокату відповідно, МПа; d_1 , d_2 – діаметри прокату і заготовки відповідно, мм; k – коригувальний коефіцієнт, який враховує вміст вуглецю та кількість перліту бала № 1 (ГОСТ 8233-56) в структурі прокату.

Результати розрахунків із застосуванням вдосконаленої формули наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Взаємозв'язок границі міцності переробної заготовки з вихідним класом міцності бунтового прокату

Діаметр, мм		Клас міцності переробної заготовки, МПа				Σε, %
вихідний прокат	переробна заготовка	1770	1860	1960	2060	
		Границя міцності прокату, МПа не менше				
8,0	3,05/3,20	1100	1140	1170	1260	85,4...84,0
10,0	4,10/4,25	1110	1170	1230	1290	83,2...81,9
11,0	5,00/5,25	1180	1260	1300	1370	79,3...77,2
12,0	5,00/5,25	1130	1190	1250	1310	82,6...80,9
	6,00/6,25	1230	1290	1370	1440	75,0...72,9

У відповідності до одержаних даних забезпечити вихідний клас міцності прокату (підкреслені значення) в інтервалі 1290...1440 МПа за умови безперервного охолодження бунтового прокату у лінії дрібносоротно-дротового стана не є можливим навіть при використанні сталей евтектоїдного складу із додатковим вмістом хрому та/або ванадію (С82D^{Cr}, С82D^V, С82D^{CrV}). Отже, вирішення цієї проблеми може бути досягнуто за рахунок підвищення вмісту в сталі вуглецю або збільшення вихідного діаметру бунтового прокату, що в останньому випадку обумовить зростання сумарного відносного обтиснення та, відповідно, границі міцності холоднодеформованої переробної заготовки.

Контроль за повним технологічним циклом перероблення бунтового прокату в арматурні канати діаметром 9,3; 12,5; 15,2 і 18,0 мм дозволив встановити коефіцієнти зміцнення за тимчасовим опором руйнуванню досліджуваних сталей на різних технологічних ділянках (табл. 2), що забезпечує обґрунтований підхід до встановлення вимог за границею міцності бунтового прокату.

Що стосується границі плинності переробної заготовки, то вона також є прогнозованою, характеризується тісним зв'язком із її границею міцності і в залежності від складу технологічних операцій становить $(0,83...0,89) \cdot \sigma_{el}$. Відносно видовження переробної заготовки зі зростанням ступеня деформації монотонно зменшується на $\sim 55...60\%$, але після проведення механотермічного оброблення, за умови обрання раціональних параметрів стабілізації (температура нагрівання і величина навантаження), цей показник зростає на $\sim 50\%$. Результати досліджень дозволяють стверджувати, що зміна механічних властивостей сталей перлітного класу під час холодного пластичного деформування й додаткового механотермічного оброблення добре піддається математичним розрахункам, що дозволяє за допомогою прогнозних моделей, в залежності від вимог до того чи іншого класу міцності готових металовиробів, обґрунтовано підходити до показників якості вихідної сировини (бунтового прокату).

Таблиця 2. Коефіцієнти зміцнення для розрахунку границі міцності прокату

Діаметр прокату, мм	Мінімальні значення		Максимальні значення		Середні значення	
	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2
8,0	1,62	1,58	1,71	1,65	1,67	1,62
10,0...12,0	1,64	1,59	1,69	1,67	1,67	1,63

Примітка. $n_1 = \sigma_{e1} / \sigma_{e2}$; $n_2 = \sigma_{e3} / \sigma_{e2}$ (де σ_{e3} – границя міцності канату).

З огляду на викладене у відділі термічної обробки металу для машинобудування створена комп'ютерна програма «CalcRoutes» [13], що дозволяє в автоматичному режимі здійснювати побудову ефективних маршрутів волочіння прокату, визначати енергосилові параметри волочіння та розраховувати прогнозні значення границі міцності переробної заготовки в залежності від показників якості бунтового прокату. Для проведення розрахунків до робочого вікна програми вводяться такі дані: діаметр прокату і переробної заготовки; границя міцності прокату; кількість блоків волочильного стану; вміст вуглецю в

сталі; кількість перліту бала № 1 у структурі прокату; потужність електродвигунів. За допомогою «CalcRoutes» можливо визначати наступні показники: розмір волок для створення маршрутів волочіння; кінематичну схему витяжки; швидкість волочіння; границю міцності прокату після кожного із осередків деформації; коефіцієнт навантаження на електродвигуни.

В умовах ВАТ «Дніпрометиз» проведено промислове випробування комп'ютерної програми «CalcRoutes» для прогнозного визначення класу міцності переробних заготовок зі сталей, які містили 0,70...0,74 % С. Результати випробувань засвідчили високу збіжність практичних і теоретичних даних, відхилення розрахункових значень від фактичних за границею міцності переробної заготовки не перевищувало ± 25 МПа. За результатами випробувань комп'ютерна програма рекомендована до промислового використання. Подальші кроки щодо вдосконалення програми «CalcRoutes» будуть спрямовані на доопрацювання модуля прогнозного розрахунку границі міцності й відносного видовження холоднодеформованих металовиробів з урахуванням зміни параметрів механотермічного оброблення, адже відомо, що під час стабілізації під впливом механічних поздовжніх напружень показники міцності і пластичності металу зростають, що обумовлено процесами упорядкування дислокаційної субструктури (полігонізації) і деформаційного динамічного старіння [1, 11, 14].

Висновки

Розглянуто вплив холодного пластичного деформування волочінням на формування класу міцності готових металовиробів зі сталей перлітного класу, які містять 0,7...0,9 % С. Встановлено, що границя міцності добре піддається математичним розрахункам, що дозволяє створювати прогнозні моделі та обґрунтовано підходити до показників якості вихідної сировини (бунтового прокату). За результатами досліджень розроблено комп'ютерну програму «CalcRoutes», що дозволяє в автоматичному режимі здійснювати побудову ефективних маршрутів волочіння прокату, визначати енергосилові параметри волочіння та розраховувати прогнозні значення границі міцності переробної заготовки в залежності від показників якості бунтового прокату. Результати випробувань у промислових умовах засвідчили високу збіжність фактичних і прогнозних значень із визначення границі міцності переробної заготовки, тому комп'ютерна програма рекомендована для використання у промислових умовах металовиробних підприємств. Подальші кроки щодо вдосконалення програми «CalcRoutes» будуть спрямовані на доопрацювання модуля прогнозного розрахунку границі міцності й відносного видовження холоднодеформованих

металовиробів з урахуванням зміни параметрів механотермічного оброблення.

Перелік посилань

1. Производство высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения : монография / под общей редакцией М. В. Чукина. Москва : Metallurgizdat, 2014. 276 с.
2. Высокоуглеродистая катанка для изготовления высокопрочных арматурных канатов : монография / А. Б. Сычков и др. Бендеры : Полиграфист, 2010. 280 с.
3. Парусов В. В., Сычков А. Б., Парусов Э. В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки : монография. Днепропетровск : Арт-Пресс, 2012. 376 с.
4. Стальная проволока : монография / Х. Н. Белалов и др. Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2011. 689 с.
5. Губенко С. И., Парусов В. В. Деформация металлических материалов : учебн. пособие. Днепропетровск : Арт-пресс, 2006. 316 с.
6. Парусов Э. В., Губенко С. И., Луценко В. А., Сычков А. Б., Веденеев А. В. Взаимосвязь предельной деформируемости бунтового проката при волочении с параметрами его микроструктуры. *Литье и металлургия*. 2016. № 3 (84). С. 75–81.
7. Парусов Е. В., Губенко С. И., Парусов О. В., Чуйко І. М. Розробка сучасного енергоефективного способу виробництва холоднодеформованої арматури для попередньо напружених залізобетонних конструкцій. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії : зб. наук. пр. Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». Харків : НТУ «ХПІ», 2018. № 30 (1306) 2018. С. 39–45.
8. Prikhodko I. Yu., Parusov E. V., Parusov O. V., Chuiko I. N., Klemeshov E. S. Elements of technology for producing cold-formed rebar from C86D steel using an idle stand. *Steel in Translation*. 2020. Vol. 50. No. 7. P. 481–486. DOI: 10.3103/S0967091220070116.
9. Сычков А., Парусов Э. Моллер А. Технология термической обработки арматурного и фасонного проката в потоке сортовых станов (Теория и металлургическая практика). Germany-Mauritius : Palamarium Academic Publishing, 2017. 261 с.
10. Высокопрочная арматурная сталь / А. А. Кугушин и др. Москва : Металлургия, 1986. 272 с.
11. Долгий Д. К., Корчунов А. Г., Барышников М. П. Моделирование процесса стабилизации высокопрочной холоднодеформированной арматуры. *Вестник МГТУ им. Г. И. Носова*. 2012. № 2. С. 43–45.
12. Коковихин Ю. И. Технология сталепроволочного производства : учебн. для студентов вузов. Киев : Ин-т систем. исслед. образования, 1995. 608 с.
13. Парусов Е. В. Прогнозування енергосилових параметрів волочіння та механічних властивостей холоднодеформованого дроту з високовуглецевих сталей. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні* : матеріали Х міжнародної науково-практичної конференції, м. Дніпро, 27-29 березня 2018 р.

Дніпро : НМетАУ, 2018. С. 31.

14. Парусов Э. В., Сычков А. Б., Губенко С. И. и др. О склонности бунтового проката к деформационному старению в процессе волочения. *Проблемы трибологии*. 2016. № 4. С. 31–40.

Reference

1. Chukin M.V. (Eds.). (2014). *Proizvodstvo vysokoprochnoy stalnoy armatury dlya zhelezobetonnykh shpal novogo pokoleniya: monografiya [Production of high-strength steel reinforcement for reinforced concrete sleepers of a new generation: monograph]*. Moskva: Metallurgizdat, 2014, 276. [In Russian].
2. Sychkov A.B. et al. (2010). *Vysokouglerodistaya katanka dlya izgotovleniya vysokoprochnykh armaturnykh kanatov: monografiya [High-carbon wire rod for the manufacture of high-strength reinforcing ropes: monograph]*. Bendery: Poligrafist, 2010, 280. [In Russian].
3. Parusov V.V., Sychkov A.B., Parusov E.V. (2012). *Teoreticheskie i tehnologicheskie osnovy proizvodstva vysokoeffektivnykh vidov katanki [Theoretical and technological foundations for the production of highly efficient types of wire rod]*. Dnepropetrovsk: Art-press, 2012, 376. [In Russian].
4. Belalov Kh.N. et al. (2011). *Stalnaya provoloka: monografiya [Steel wire: monograph]*. Magnitogorsk: MGTU im. G. I. Nosova, 2011, 689. [In Russian].
5. Gubenko S.I., Parusov V.V. (2006). *Deformatsiya metallicheskih materialov: uchebn. posobiye [Deformation of metallic materials: textbook]*. Dnepropetrovsk: Art-press, 2006, 316. [In Russian].
6. Parusov E.V., Gubenko S.I., Lutsenko V.A., Sychkov A.B., Vedeneyev A.V. (2016). Vzaимosvyaz predelnoy deformiruyemosti buntovogo prokata pri volochenii s parametrami yego mikrostruktury [The Correlation between ultimate strain rolled steel in drawing with the parameters of microstructure]. *Litye i metallurgiya [Foundry production and metallurgy]*, 2016, 3 (84), 75-81. [In Russian].
7. Parusov E.V., Gubenko S.I., Parusov O.V., Chuyko I.M. (2018). Rozrobka suchasnogo yenergoefektivnogo sposobu virobnytstva kholodnodeformovanoї armaturi dlya poperedno napruzhenikh zalizobetonnykh konstruktсий [Development of modern energy-efficient method of production of cold-formed armature for prestressed reinforced concrete construction]. *Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu «KHPI». Seriya: Innovatsiyini tekhnologii ta obladnannya obrobki materialiv u mashinobuduvanni ta metalurgii: Nats. tekhn. un-t «Kharkiv. politekhn. in-t» [Bulletin of National Technical University "KhPI". Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy]*. Kharkiv: NTU «KHPI», 2018. 30 (1306), p.p. 39-45. [In Ukrainian].
8. Prikhodko I.Yu., Parusov E.V., Parusov O.V., Chuiko I.N., Klemeshov E.S. (2020). Elements of technology for producing cold-formed rebar from C86D steel using an idle stand. *Steel in Translation*, 2020, Vol. 50, 7, 481-486. <https://doi.org/10.3103/s0967091220070116>.
9. Sychkov A., Parusov E. Moller A. (2017). *Tekhnologiya termicheskoy obrabotki armaturnogo i fasonnogo prokata v potoke sortovykh stanov (Teoriya i metallurgicheskaya praktika) [Technology of heat treatment of reinforcing and*

structural shapes in the flow of long-section mills (Theory and metallurgical practice): monograph. Germany-Mauritius: Palamarium Academic Publishing, 2017, 261. [In Russian].

10. Kugushin A.A. et al. (1986). *Vysokoprochnaya armaturnaya stal [High-strength reinforcing steel]*. Moskva: Metallurgiya, 1986, 272. [In Russian].
11. Dolgiy D.K., Korchunov A.G., Baryshnikov M.P. (2012). Modelirovaniye protsessa stabilizatsii vysokoprochnoy kholodnodeformirovannoy armatury [Modeling the process of stabilization of high-strength cold-deformed reinforcement]. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova [Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. G.I. Nosova]*, 2012, 2, 43-45. [In Russian].
12. Kokovikhin YU.I. (1995). *Tekhnologiya staleprovolochnogo proizvodstva: uchebn. dlya studentov vuzov [Technology of steel wire production: textbook for university students]*. Kiyev: In-t sistem. issled. obrazovaniya, 1995, 608. [In Russian].
13. Parusov E.V. (2018). Prognozuvannya yenergosilovikh parametriv volochinniya ta mekhanichnikh vlastivostey kholodnodeformovanogo drotu z visokovugletsevykh staley [Prediction of energy-power parameters of drawing and mechanical power of cold-formed steel from high-carbon steels]. *X mizhnarodnaya naukovo-praktychnaya konferentsiya (27-29 bereznya 2018 hoda) Informatsiyni tekhnologii v metalurgii ta mashinobuduvanni [Proceedings of X International Scientific and Technical Conference Information Technologies in Metallurgy and Machine building]*. Dnipro: NMetAU, 2018, p. 31. [In Ukrainian].
14. Parusov E.V., Sychkov A.B., Gubenko S.I. et al. (2016). O sklonnosti buntovogo prokata k deformatsionnomu stareniyu v protsesse volocheniya [On addiction the rolled steel to strain aging at drawing process]. *Problemy tribologii [Problems of Tribology]*, 2016, 4, 31-40. [In Russian]

E. V. Parusov, Dr. Sci., Senior Researcher, Head of Department, ORCID 0000-0002-4560-2043

V. A. Lutsenko, Dr. Sci., Senior Researcher Scientist, Lead researcher, ORCID 0000-0002-4604-5592

I. M. Chuiko, Ph.D., Senior Researcher, ORCID 0000-0002-4753-614X

O. V. Parusov, Ph.D., Senior Researcher, ORCID 0000-0002-9879-6179

T. M. Golubenko, Ph.D., Senior Researcher, ORCID 0000-0002-3583-211X

G. I. Sivak, Researcher, ORCID 0000-0001-6948-7732

Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine

ON THE POSSIBILITY OF FORECASTING MECHANICAL PROPERTIES OF COLD-DEFORMED METAL PRODUCTS FROM PEARLITE GRADE STEEL

Summary. In accordance with the latest global trends and modern needs of hardware factories, the demand for wire rod made of pearlitic steels has significantly increased,

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2021. – Випуск 35
«Fundamentalnye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2021. – Vypusk 35
«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2021. – Collection 35

which can undergo cold plastic deformation with large degrees of reduction and is intended for the manufacture of various commercial products (cold-worked reinforcement, reinforcing ropes, spring wire, steel cord, wire for high pressure hoses, construction fiber, etc.). The most promising direction for increasing the strength class of hot-rolled steels is strain hardening during cold plastic deformation. The structure of cold-worked steels has a more uniform distribution over the cross-section, in contrast to thermally hardened ones, which in the latter case are characterized by annular structural zones formed due to different mechanisms of austenite decomposition. In a number of cases, structural heterogeneity causes instability of the mechanical properties of rolled steel, therefore, there is currently no alternative way to strain hardening. The manufacture of high-strength cold-worked metal products is a complex process and depends on the quality of the wire rod. If the cold-worked hardware does not meet the requirements of the normative documentation for the strength class, then it is no longer possible to ensure the correction of this defect using heat treatment. In this regard, scientific and practical interest has arisen to determine the possibility of creating a method for predictive determination of the mechanical properties of cold-deformed metal products made of pearlitic steels. The features of the influence of cold plastic deformation by on the formation of the strength class of pearlite grade steels with a carbon content of 0.7...0.9 % are considered. It is established that the temporary resistance to fracture, at the known parameters of structure and carbon content, lends itself well to mathematical calculations and allows to create predictive models. According to the results of the research, a computer program was created that allows to automatically calculate the energy parameters of drawing and determine the tensile strength of the wire after depending on the total relative compression, parameters of the structure of wire rod and the carbon content in the steel.

Keywords: Pearlite grade steels, mechanical properties, cold plastic deformation, coiled bar, processing billet, modeling.

For citation: *Parusov E.V., Lutsenko V.A., Chuik I.M., Parusov O.V., Golubenko T.M., Sivak G.I. Pro mozhyvist prohnozuvannya mekhanichnykh vlastyvostey kholodnodeformovanykh metalovyrobiv zi staley perlitnoho klasu [On the possibility of forecasting mechanical properties of cold-deformed metal products from pearlite grade steel]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy]*, 2021, 35, 236-245. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2021-35-236-245*

*Стаття надійшла до редакції збірника 23.11.21 року,
пройшла внутрішнє і зовнішнє рецензування
(Протокол засідання редакційної колегії
збірника №4 від 22 грудня 2021 року)*